

国産アボカド脂質含量の簡易な推定手法の開発と香川県における 収穫適期の解明

高畑 宏基^{a)}・川地 昌彦^{a)}・山下 泰生^{a)}・松岡 博美^{b)}・
浅井 貴子^{b)}・松原 梓^{b)}・松原 保仁^{b)}

キーワード：アボカド，脂質含量，乾物率，可視・近赤外分光法，収穫適期

Development of a simple method for estimating the oil content of domestic avocado and
elucidation of optimal harvest time in Kagawa Prefecture

Hiroki TAKABATAKE^{a)}, Masahiko KAWAJI^{a)}, Taisei YAMASHITA^{a)}, Hiromi MATSUOKA^{b)},
Takako ASAI^{b)}, Azusa MATSUBARA^{b)}, Yasuhito MATSUBARA^{b)}

Key words: avocado, oil content, dry matter, VIS-NIR spectroscopy, optimal harvest time

Abstract

Since oil content is an important determinant of avocado fruit quality, we sought to develop a simple method for estimating oil content in the field and investigated the optimal time for harvesting fruit in Kagawa Prefecture.

We succeeded in developing two simple methods for accurately estimating the oil content of avocados grown in Japan: one based on dry matter percentage and the other, on visible-near-infrared spectroscopy.

We also found that 'Bacon' avocados grown outdoors in Kagawa Prefecture can be harvested from November but mid-December onward is the optimal time for harvesting mature fruit with maximum oil content.

摘 要

アボカドの果実品質を決める重要な因子である脂質含量について，栽培現場でも実用可能な簡易な推定手法を検討するとともに，脂質含量の推移から香川県における収穫適期を調査した。

その結果，国産アボカドの脂質含量を高い精度で推定できる簡易な手法として，乾物率による推定と，可視・近赤外分光法による推定の二つの手法を開発した。

また，香川県の露地栽培におけるアボカド「ベーコン」では，11月以降収穫が可能となり，完熟果を収穫す

るためには，脂質含量が最大に達する12月中旬以降に収穫する必要があると考えられた。

緒 言

アボカド (*Persea americana* Mill.) は中央アメリカ～メキシコを原産とするクスノキ科ワニナシ属の常緑高木である (農山漁村文化協会¹⁴⁾)。果肉に含まれる脂質の多くはオレイン酸を中心とした不飽和脂肪酸であり (文部科学省¹²⁾)，アボカドにはLDLコレステロールを下げる働きがある (Wang et al.¹⁵⁾) と報告されており，健康食品として注目されている。我が国の2000年の輸入量

a) 府中果樹研究所 b) 産業技術センター食品研究所

受理日：2022年3月31日

は14,070tであったが、2010年には44,552t、2020年には79,560t（財務省¹⁸⁾）と、需要は年々増加傾向にある。また、亜熱帯性の植物ではあるものの、近年の温暖化傾向に伴い、耐寒性の高い品種を選べば、国内での露地栽培も可能となりつつある。国内産の出荷量は令和元年産果実でわずか11.7t（農林水産省¹³⁾）と少ないが、完熟状態で収穫することができる国産果実に対して、消費者および生産者の両者からの関心が高まっている。

アボカドは、果実の成熟とともに脂質含量が増加し濃厚な味になる（米本¹⁷⁾）ことから、脂質含量が果実品質を決める重要な因子であると考えられるが、脂質含量は外観からは判別できず、加えてその測定には複雑な分析と数日の期間を要する。このため栽培現場においては果実品質を把握することが困難であり、より簡易な推定手法が求められる。簡易な推定手法として、国外では、果肉の乾物率から脂質含量を推定する手法が報告されている（Carvalho et al.³⁾、Lee et al.¹⁰⁾）。一方、可視・近赤外分光法は農林水産物の品質を非破壊で推定する手法として広く利用されており、持ち運びも可能で容易に利用できる携帯型近赤外分光光度計も複数開発されている。この手法を用いることで、ウンシュウミカン（Kawano et al.⁷⁾）やモモ（Kawano et al.⁸⁾）の糖度、牧草の飼料成分（安里ほか¹⁾）、マアジ・アカムツの脂質含量（清川・井岡⁹⁾）などが推定でき、アボカドにおいては、乾物率（Clark et al.⁴⁾）や水分含量（Blakey et al.²⁾）の推定ができることが報告されている。

しかし、乾物率と脂質含量の関係は、栽培された地域や品種によって多少異なるとされ（Lee et al.¹⁰⁾）、これは可視・近赤外分光法についても同様であると考えられる。国内においては、乾物率と脂質含量の経時変化を調べた例（井上・高橋⁵⁾）はあるものの、国産果実における脂質含量の推定手法は未だ確立されていない。このため国産果実においては、別途これらの手法を検討し、国産果実専用の推定手法を確立する必要がある。

また、香川県においては露地栽培アボカドの収穫適期が判明していない。そこで本研究では、耐寒性が高く、香川県で露地栽培する場合に主要品種となると考えられる品種「ベーコン」を用いて、乾物率と可視・近赤外分光法によって国産果実の脂質含量を簡易に推定する手法を検討するとともに、脂質含量の推移から、香川県での収穫適期について検討した。

材料および方法

1. 材料

香川県農業試験場府中果樹研究所に植栽されたアボカド品種「ベーコン」3樹を用いた。2020年10月～2021年1月、2021年10月～2022年1月に月2回、各回8果を採取し、合計128果を供試した。

2. 乾物率による推定

果実は採取後1時間常温で静置し、後述する可視・近赤外スペクトルの測定後、果皮および種子を取り除いた。果肉の新鮮重を測定後、70℃で重量が変わらなくなるまで乾燥させ、乾物率を算出した。乾燥サンプルを用いて、ジエチルエーテルを溶媒としたソックスレー抽出法により粗脂肪を抽出・定量し、乾物重あたりの脂質含量を測定した。測定値と乾物率により、新鮮重100gあたりの脂質含量（%）（以下、脂質含量とする。）を算出した。単回帰分析により、乾物率と脂質含量の相関を解析した。

3. 可視・近赤外分光法による推定

可視・近赤外スペクトルの測定には、携帯型近赤外分光光度計であるフルーツセレクター（K-BA100R、（株）クボタ）を用いた。果実赤道部の可視・近赤外スペクトルを500nm～1010nmの波長領域において2nm間隔で測定した。外乱光を防ぐため、測定は暗条件で行った。続いて、得られた可視・近赤外スペクトルに二次微分処理を行った。処理にはSavitzky-Golay法を用い、平滑化点数は25点とした。その後、検量線を作成・評価するため、供試果実を検量線作成試料と検量線評価試料に区分した。検量線作成試料は各回のうち6果の合計96果、検量線評価試料は各回のうち2果の合計32果とした。検量線作成試料について、脂質含量を目的変数、二次微分スペクトルを説明変数として、ステップワイズ法を用いた重回帰分析により、相関が強い波長を自動選択し検量線を作成した。なお、重回帰分析には統計解析ソフトウェア（SPSS13.0J）を用いた。作成した検量線について、検量線評価試料を用いて評価を行った。また、検量線の推定精度を、EI法（水野ほか¹¹⁾）およびRPD法（Williams and Norris¹⁶⁾）を用いて判定した。

4. 収穫適期の判定

採取日ごとに脂質含量の平均値および標準誤差を算出した。脂質含量の推移から、収穫適期を判定した。

結 果

1. 乾物率による推定

測定した128サンプルの乾物率と脂質含量の統計値を表-1に示す。乾物率の平均は24.2%，最小値は16.5%，最大値は31.8%，標準偏差は3.7%，脂質含量の平均は11.9%，最小値は4.4%，最大値は20.8%，標準偏差は3.7%であり，概ね広いレンジを得ることができた。単回帰分析の結果，脂質含量と乾物率の間には強い正の相関関係が見られた。得られた回帰式は，脂質含量（%）をy，乾物率（%）をxとすると， $y = -12.06 + 0.99x$ ($R^2 = 0.94$, $p < 0.0001$)であった（図-1）。Lee et al.¹⁰⁾によると，食味試験の結果，「ベーコン」の脂質含量の最低許容度は8.7%である。得られた回帰式から，最低許容度を満たす時の乾物率を計算すると21.0%であった。

2. 可視・近赤外分光法による推定

分析に用いた各試料群の脂質含量の統計値を表-2に

表-1 乾物率および脂質含量の統計値

項目	平均	最小値	最大値	標準偏差
乾物率	24.2	16.5	31.8	3.7
脂質含量	11.9	4.4	20.8	3.7

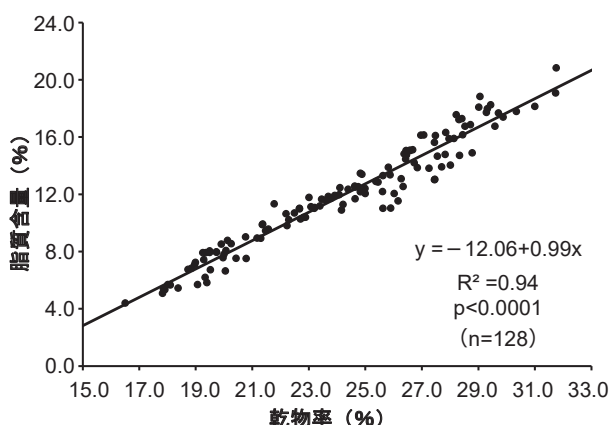


図-1 乾物率と脂質含量との関係

示す。検量線作成試料の平均は11.9%，最小値は4.4%，最大値は18.8%，標準偏差は3.7%である。検量線評価試料の平均は12.2%，最小値は5.1%，最大値は20.8%，標準偏差は3.8%である。試料群間でレンジに偏りが生じないように，サンプルを配分した。重回帰分析の結果を表-3および図-2に示す。ステップワイズ法により，第一波長に924nm，第二波長に764nmが選択された。VIF（variance inflation factor）の確認により，多重共線性の問題も見られなかったことから，これら二波長を用いて検量線を作成した。作成した検量線の重回帰式を示す。

$$y = 23.32 - 11822.18 \times \lambda_{924\text{nm}} - 7466.62 \times \lambda_{764\text{nm}}$$

(y = 脂質含量 (%), 下線部は各波長における二次微分値)

検量線作成試料の決定係数 (R^2) は0.87，SECは1.34

表-2 各試料群の脂質含量の統計値

試料群	n	平均	最小値	最大値	標準偏差
検量線作成	96	11.9	4.4	18.8	3.7
検量線評価	32	12.2	5.1	20.8	3.8

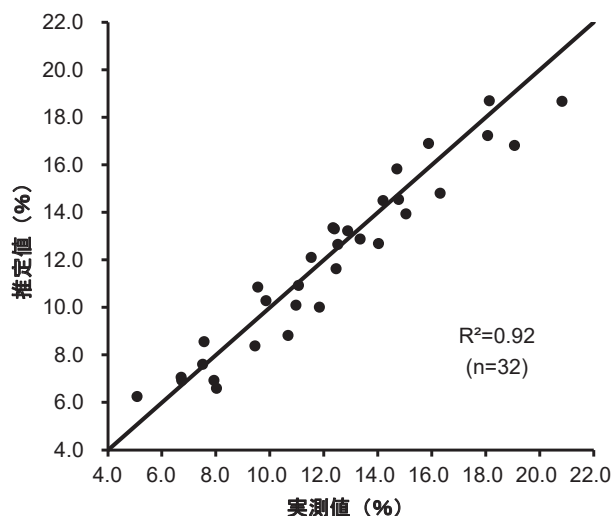


図-2 検量線評価試料における脂質含量の実測値と推定値との関係

表-3 脂質含量の重回帰分析結果

選択波長 (nm)		検量線作成			検量線評価					EI ^v	ランク ^u	RPD ^{t,s}
λ 1	λ 2	n	R ²	SEC ^z	n	R ²	SDP ^y	SEP ^x	Bias ^w			
924nm	764nm	96	0.87	1.34	32	0.92	1.07	1.09	0.26	13.6	B	3.6

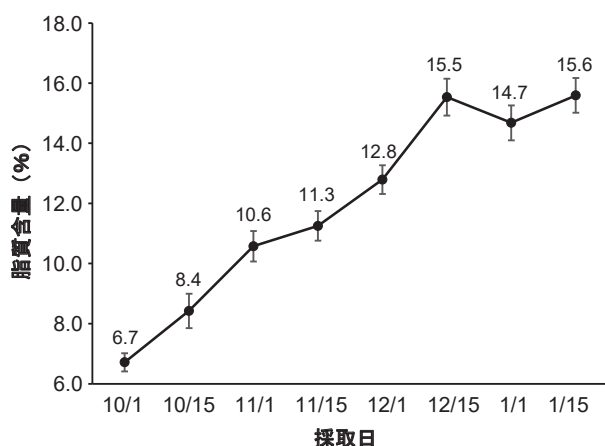
^z検量線作成試料における標準誤差 ^y検量線評価試料における誤差の標準偏差 ^t検量線評価試料における標準誤差

^u残差の平均値 ^v $100 \times 2 \times \text{SDP} / \text{レンジ}$ で算出 ^wEIが0-12.4をA, 12.5-24.9をB, 25.0-37.4をC, 37.5-49.9をD, 50以上をEとする

^sRPD = SD/SEPにより算出 検量線評価試料の標準偏差SDは3.88であった ^xRPD < 2.3: 精度が非常に低く実用には向かない,

2.4 < RPD < 3.0: 精度は低いが大まかな推定は可能である, 3.1 < RPD < 4.9: 精度が高く問題のない推定が可能である,

5.0 < RPD < 6.4: 精度が非常に高い, 6.5 < RPD < 8.0: 精度が特に高く品質管理分析に相当する, 8.1 < RPD: 精度が極めて高く化学分析に相当する



※エラーバーは標準誤差を示す (n=16)

図-3 脂質含量の推移

であった。検量線評価試料の決定係数 (R^2) は0.92, SDPは1.07, SEPは1.09, Biasは0.26と総じて良好な結果を示した。検量線の推定精度の判定について、EI法では、EI値が13.6%でBランクとなり、実用性は高いと判定された。RPD法では、RPD値が3.6となり、 $3.1 < \text{RPD} < 4.9$ であるため、精度が高く、問題のない推定が可能であると判定された。

3. 収穫適期の判定

採取日ごとの脂質含量の推移を図-3に示す。脂質含量は10月1日の調査開始時点から12月15日まで増加傾向を示し、以降は15%程度と最大に達した。Lee et al.¹⁰⁾の食味試験に基づく脂質含量の最低許容度8.7%を超えたのは、11月1日であった。

考 察

乾物率と脂質含量の相関は非常に強く、乾物率を測定することで、国産アボカドにおいても脂質含量を非常に高い精度で簡易に推定できると考えられた。この結果は国外での既報 (Calvalho et al.³⁾, Lee et al.¹⁰⁾)とも一致する。

可視・近赤外分光法についても、今回作成した検量線の推定精度は高く、果実の可視・近赤外スペクトルを測定することで、国産アボカドにおいても脂質含量を高い精度で簡易に推定できると考えられた。なお、今回検量線に用いた二波長のうち、924nmは脂質に、764nmは水に帰属すると推察される (Clark et al.⁴⁾)。

乾物率による推定と可視・近赤外分光法による推定を比較すると、決定係数 (R^2) などから、推定精度は乾物率による推定のほうがやや高いと考えられる。推定に

かかる時間については、乾物率による推定が乾燥処理におおむね3日程度を要するのに対し、可視・近赤外分光法による推定では、迅速に推定を完了することができる。また、推定に用いる果実について、乾物率による推定では、破壊調査であることから、推定に用いた果実はロス果となる。それに対して可視・近赤外分光法による推定は、非破壊調査であり、推定に用いた果実もロス果とはならない。アボカドは着果率が非常に低いことから、少しでも多くの果実を確保することが重要であると考えられる。さらに、今回の研究のように携帯型近赤外分光光度計を用いれば、ほ場において、同一果実を経時的に調査することも可能である。なお、ほ場において調査するためには、果実温度の影響を考慮した温度補償型検量線を作成する必要があると考えられる (河野⁶⁾)。以上のことから、簡易ながらも高い精度が必要な場合には、乾物率による推定が、簡易かつ迅速に、果実のロスなく行いたい場合や同一果実を経時的に調査する場合には可視・近赤外分光法による推定が適していると考えられた。

また、可視・近赤外分光法による推定は、非破壊で利用できることから、集団の全個体を調査することが可能であり、あらかじめ基準を設定しておけば、果実を等級別に振り分けることができる。

以上のことより、開発した手法は栽培現場や流通現場において十分に適用でき、収穫期の判定や果実品質の担保につながると考えられる。

一方、外国から輸入される果実は、時期などによっては、未熟な状態で収穫されている場合があり、国産果実においては、樹上で完熟させてから収穫することで外国産との差別化を図り、有利販売を行うことができる (米本¹⁷⁾)。このことから、香川県での露地栽培の「ペーコン」においては、脂質含量がLee et al.¹⁰⁾の食味試験に基づく最低許容度を超える11月上旬以降に収穫が可能となり、完熟果を収穫するためには、脂質含量が最大に達する12月中旬以降に収穫する必要があると考えられた。ただし、香川県においては、寒害の影響や樹体への着果負担を考慮し、脂質含量が最大に達した以降は早めに収穫することが好ましいと思われる。

引用文献

- 1) 安里直和・幸喜香織・蝦名真澄・川本康博・荷川取秀樹 (2018)：近赤外分析法を用いた暖地型牧草ローズグラスの飼料成分推定, 日本暖地畜産学会報, 61 (2)：63～69.

- 2) Blakey, R.J., Bower, J.P. and Bertling, I. (2009) : Influence of water and ABA supply on the ripening pattern of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit and the prediction of water content using near infrared spectroscopy, *Postharvest Biol. Technol.*, 53 : 72~76.
- 3) Catarina Pedro Carvalho, Maria Alejandra Velasquez, and Zelda Van Rooyen (2014) : Determination of the minimum dry matter index for the optimum harvest of 'Hass' avocado fruits in Colombia, *Agronomia Colombiana*, 32 (3) : 399~406.
- 4) C.J. Clark, V.A. McGlone, C. Requejo, A. White, and A.B. Woolf (2003) : Dry matter determination in 'Hass' avocado by NIR spectroscopy, *Postharvest Biology and Technology*, 29 : 300~307.
- 5) 井上弘明・高橋文次郎 (1991) : 脂肪含有量と乾物率によるアボカド果実の収穫期の判定, *園学雑*60 (別2) : 54~55.
- 6) 河野澄夫 (2013) : 近赤外分光法による農産物等の非破壊品質評価, *農業機械学会誌*, 第75巻, 第2号 : 67~73.
- 7) Sumio Kawano, Takayuki Fujiwara and Mutsuo Iwamoto (1993) : Nondestructive determination of sugar content in satsuma mandarin using near infrared (NIR) transmittance, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 62 (2) : 465~470.
- 8) Sumio Kawano, Hisavoshi Watanabe and Mutsuo Iwamoto (1992) : Determination of sugar content in intact peaches by near infrared spectroscopy with fiber optics in interactance mode, *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 61 (2) : 445~451.
- 9) 清川智之・井岡久 (2007) : ポータブル型近赤外分光分析装置によるマアジ, アカムツ脂質含有量の非破壊測定とその活用事例, *島根水技セ報*, 1号 : 11~17.
- 10) S.K.Lee, R.E.Young, P.M.Schiffman, and C.W.Coggins, Jr. (1983) : Maturity studies of avocado fruit based on picking dates and dry weight, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 108 (3) : 390~394.
- 11) 水野和彦・石栗敏機・近藤恒夫・加藤忠司 (1987) : 近赤外線反射率測定法による牧草の成分および栄養価の推定 I 成分および栄養価の推定精度とその評価, *草地試験場研究報告*, 第38号 : 35~46.
- 12) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会 (2021) : 日本食品標準成分表2020年版 (八訂) 脂肪酸成分表編, 蔦友印刷, 長野 : 298pp
- 13) 農林水産省 (2022) : 令和元年産特産果樹生産動態等調査, https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_kazyu/
- 14) 農山漁村文化協会 (2000) : 果樹園芸大百科 17 熱帯特産果樹, 農山漁村文化協会, 東京 : 219pp
- 15) Li wang, Peter L. Bordi, Jennifer A. Fleming, Alison M. Hill and Penny M. Kris-Etherton (2015) : Effect of a moderate fat diet with and without avocados on lipoprotein particle number, size and subclasses in overweight and obese adults: a randomized, controlled trial, *J. Am. Heart Assoc.*, 4 : Article e001355
- 16) Williams, P.C., Norris K (2001) : Implementation of near-infrared technology : in the agricultural and food industries, 2nd Edition, American Association of Cereal Chemists, Minnesota : 145~169
- 17) 米本仁巳 (2007) : アボカドー露地でつくれる熱帯果樹の栽培と利用ー, 農山漁村文化協会, 東京 : 171pp
- 18) 財務省 (2022) : 財務省貿易統計, <https://www.customs.go.jp/toukei/info/>